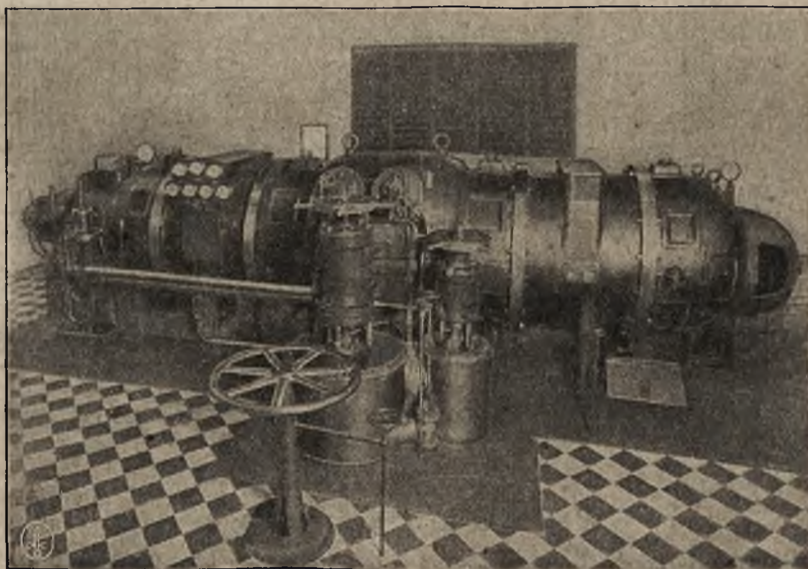
Opłata pocztowa ryczałtowana. Nakład 3.500 egz.
Nr 10. Warszawa, dnia 4 października 1927 r. Rok V.

TECHNIKA CIEPLNA

Organ Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie



ROK ZAŁOŻENIA 1880

SPÓŁKA AKCYJNA
BUDOWY KOTŁÓW PAROWYCH i MASZYN

„W. FITZNER i K. GAMPER"

SOSNOWIEC

Ilość wykonanych kotłów około 10.000 (dziesięć tysięcy) sztuk.

Adres telegr.: „FITZGAM"
Telefon № 99 i 7-15.



Sekcja wężykowata.

Kocioł wodnorurowy sekcyjny 600 m² $\times$ 35 atm.

Wysokoprężne

Kotły Wodnorurowe SEKCYJNE syst. „F. & G." o sekcjach WĘŻYKOWATYCH.

Własne biura i zastępstwa:

WARSZAWA, Ś-to Krzyska 28, telef. 95-74
ŁÓDŹ, ul. Sienkiewicza 95, telef. 20-43
POZNAŃ, ul. Pocztowa 31, telef. 53-44
LWÓW, „Tehate", ul. Romanowicza 1, tel. 205
LUBLIN, inż. Świątecki, Krak.-Przedm. 70. tel. 12
GDAŃSK, inż. Harten, Elisabethwall 9, telef. 80-33
RADOM, inż. Kaluscha, ul. Lubelska 33 telef. 67
BIELSKO, Wolf, ul. Miarki 8, telef. 5-43.

91—S

Nr. 10. Warszawa, 4 Października 1927 r. Rok V.

TECHNIKA CIEPLNA

Organ Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie.

Redaktor: Inż. techn. **JAN KOMARNICKI.**
Wydawca: **Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie.**

TREŚĆ. Prof. *Cz. Grabowski.* Wartość opałowa jako pojęcie techniczne. — Prof. *I. Feszczenko-Czopiwski.* O warunkach technicznych dla materjału blach kotłowych. Z CODZIENNEJ PRAKTYKI: *R. B.* inż. Czego spawać nie należy. KRONIKA TECHNICZNA: O korozji i osadach w kotłach parowych.
SOMMAIRE: *Cz. Grabowski, proff.* La valeur caloriphique comme une notion technique.—*I. Feszczenko-Czopiwski,* prof. Les cahiers de charge pour le materiel des tôles des chaudières. — RENCEIGNEMENTS PRATIQUES: *R. B.* Ce qui ne doit pas être soudé. CHRONIQUE: De la corrosion des tôles des chaudières.

Prof. Cz. GRABOWSKI. Warszawa.

WARTOŚĆ OPAŁOWA JAKO POJĘCIE TECHNICZNE.

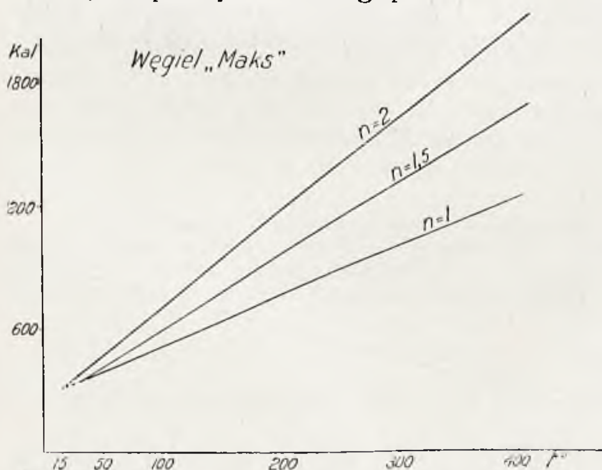
por. *Technika Cieplna*, 1927, str. 103.

3. Bilans cieplny kotła parowego.

Za względne zero temperatur przyjmiemy 15°*C*, t. j. temperaturę, dla której oznaczona została „górna" wartość opałowa paliwa. Wtedy bilans cieplny kotła parowego przedstawi się nam w sposób następujący.

Wprowadzono:

1) Ciepło spalania 1 *kg* paliwa.



Rys. 1.

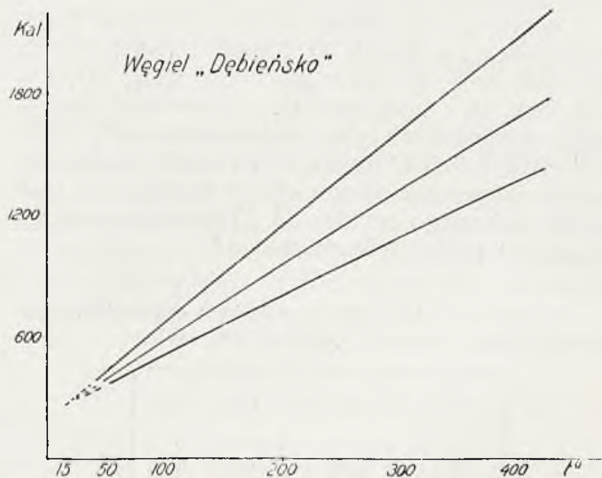
2) Ponieważ powietrze i paliwo stałe zwykle posiadają temperaturę bliską do 15°, więc zawartości cieplnej powietrza i paliwa stałego uwzględniać nie mamy potrzeby [1]).

3) Ciepło zawarte w wodzie zasilającej.

Otrzymano:

1) Ciepło niewyzyskane wskutek spalania niepełnego, a więc stracone w żużlu, w *CO*, w oddystylowanych z paliwa węglowodorach i t. p;

2) Ciepło zużyte na ogrzanie wody i wy-



Rys. 2.

tworzenie pary (przez promieniowanie paleniska i przewodnictwo cieplne gazów spalinowych);

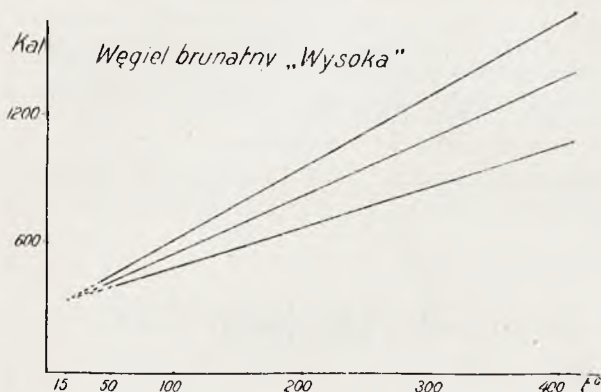
3) Ciepło rozproszone na zewnątrz nieużytecznie (przez promieniowanie i przewodnictwo).

[1]) Inaczej sprawa ta przedstawia się przy paleniskach gazowych. Do odpowiednich palenisk powietrze i gaz palny wchodzą po uprzedniem podgrzaniu w specjalnych zagrzewaczach — t. zw. rekuperatorach (przy niektórych instalacjach piecowych w regeneratorach), ogrzewanych gazami spalinowemi. O ile zagrzewacze te traktujemy jako przyrządy oddzielne, nie należące do całokształtu instalacji, dla której układamy bilans cieplny, to należy uwzględnić zawartości cieplne powietrza i gazu przy wejściu do paleniska.

4) Ciepło stracone w gazach kominowych.

Tę ostatnią pozycję należy obliczyć w sposób następujący:

Z obliczeń, podanych w rozdz. 1, widać, że 1 *kg* węgla o wyżej podanym składzie przy pełnem teoretycznem spalaniu (t. j. przy spółczynniku nadmiaru powietrza $n = 1$) dałby gazy spalinowe o składzie następującym: CO_2 — 58,2 *mola*, SO_2 — 0,206 *mola* H_2O — 26,57, N_2 — z paliwa



Rys. 3.

0,453 *mol.* i 249,77 z powietrza (t. j. ilość, odpowiadająca 66,40 *mola* tlenu O_2, wprowadzonego do paleniska), a więc razem 250,223 *mole* N_2.

Przy $n = 1,5$ mielibyśmy w gazach spalinowych jeszcze 33,2 *mole* O_2 i odpowiednio powiększoną ilość N_2, zaś przy $n = 2$ — 66,4 *mola* O_2 z nadmiaru powietrza i t. d.

Widzimy, że mamy tu do czynienia z gazami dwóch kategoryj: 1) z gazami, które mogą być uważane jako gazy doskonałe CO_2, SO_2 O_2, i N_2, oraz 2) z parą wodną. Zawartość cieplną gazów doskonałych dla temperatur 100°, 200°, 300°, 400° i 500°C obliczyć możemy na podstawie *średniego* molowego ciepła właściwego tych gazów, podanego na str. 83 „Termodynamiki technicznej" prof. Stefanowskiego [2])

[2]) W celu ułatwienia czytelnikom obliczeń tego rodzaju podajemy wyjątek z wymienionej tablicy:

°C	O_2, N_2, CO	CO_2	H_2O
100	6,96	9,08	8,04
200	6,97	9,43	8,09
300	7,00	9,76	8,16
400	7,04	10,08	8,24
500	7,07	10,34	8,32

Dla SO_2 przyjmujemy zwykle ciepło właściwe takie samo, jak i dla CO_2. Są to t. zw. ciepła właściwe *średnie*, liczone od $0°C$ do danej temperatury. Gdyby je obliczać od naszego zera względnego, t. j. od $15°C$, wypadłyby one nieco większe. Poprawka ta jednak byłaby bardzo nieznaczna. Większą niedokładność powoduje ta okoliczność, iż ciepła właściwe zależą nietylko od temperatury, lecz również i od *ciśnienia* a zatem przy dokładnem obliczaniu zawartości cieplnych należałoby uwzględnić również i ciśnienia cząstkowe poszczególnych gazów (a przedewszystkiem gazu niedoskonałego — H_2O), czego jednak nie uczyniliśmy, gdyż brak nam w literaturze odpowiednich danych.

Ciepła właściwe gazów dwuatomowych N_2, O_2 i CO są jednakowe, co przemawia na korzyść molowego systemu obliczeń.

Tak więc dla wyżej wymienionego 1 *kg* węgla i $n = 1$, dla temp. 215° otrzymaliśmy następujące zawartości cieplne:
$CO_2 + SO_2$.... $(58,2 + 0,2)\ 9,43 . 200 = 110,14$ cal. N_2..... $250,22 . 6,97 . 200 = 348,81$ cal.

Zawartość cieplną pary wodnej musieliśmy obliczyć, przyjmując jako stan początkowy wodę ciekłą w $15°C$. Ponieważ wszystkich gazów spalinowych mamy 335,2 mola a w nich 26,57 mola H_2O, więc ciśnienie cząstkowe pary wodnej (przyjmując ciśnienie ogólne około 760 *mm Hg*) w tych gazach wynosi $760 . 26,57 : 335,2 = 60,23$ *mm Hg*, co odpowiada temperaturze nasycenia 41,6°.

Traktując parowanie wody w gazach spalinowych w taki sposób, jak gdyby zachodziło ono w stałej temperaturze[3]) otrzymamy, że zawartość cieplna 1 mola pary wodnej nasyconej w 41,6° równa się

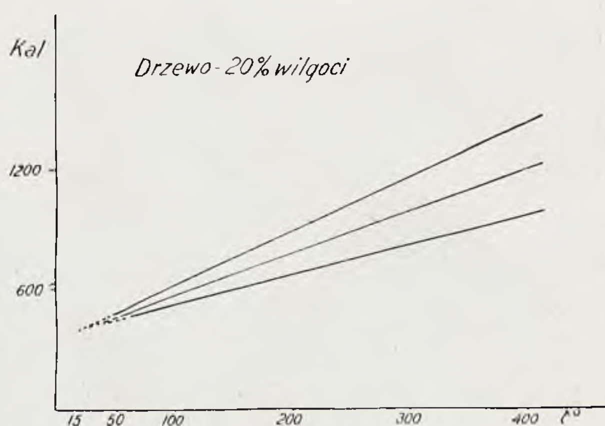
$$18\,(41,6 - 15) + 18 . 573,1 = 10794,8 \text{ cal.}$$

(gdzie 573,1 — ciepło parowania w 41,6°)

W temperaturach wyższych do zawartości cieplnej pary wodnej nasyconej dodać należy ciepło przegrzania, nprz. w temperaturze 215° zawartość cielna 1 mola pary wodnej przegrzanej pod ciśnieniem cząstkowem 60,2 *mm Hg* wyniesie

$$10794,8 + (215 - 41,6) . 8,09 = 12198 \text{ cal} = \\ = 12,2 \text{ Kcal.}$$

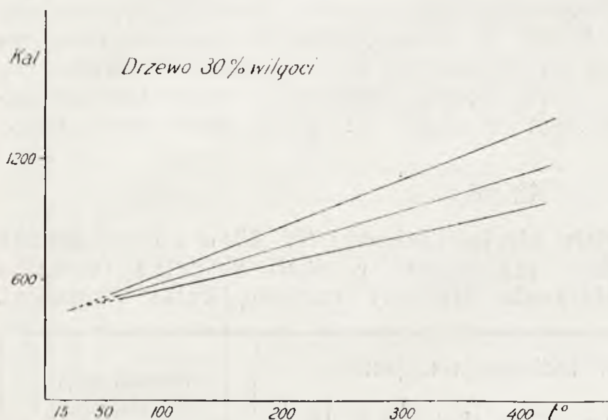
a zatem zawartość cieplna 26,57 moli H_2O w 215° wynosi 314,2 Kcal. A więc przy $n = 1$ w 215° straty ciepła w gazach kominowych, powstałych z 1 *kg* wyżej wymienionego węgla (przy pełnem spalaniu) wynoszą 773 Kcal.



Rys. 4.

[3]) W rzeczywistości w 15° w gazach spalinowych mielibyśmy (jak to widać z obliczeń, podanych w rozdz. 2) część wody w stanie pary; przy ogrzewaniu gazów woda parowałaby stopniowo. Zawartość cieplną H_2O obliczamy w założeniu, że H_2O znajduje się w cylindrze pod tłokiem pod ciśnieniem 60,23 *mm Hg*.

W podobny sposób obliczone zostały*) straty kominowe przy $n = 1$ 1,5 i 2 dla temperatur 215°, 315°, 415° oraz dla temperatur, w których para wodna w gazach kominowych znajduje się w stanie nasyconym, dla 1 *kg* 1) węgla kamiennego kopalni „Maks" (kostka II) o wyżej podanym (w rozdz. 1) składzie, 2) dla węgla kopalni „Dubieńsko": C — 78,50 H — 5,22, O — 7,71, N — 1,62, S — 0,74, pop — 4,17, H_2O — 1,75; 3) dla węgla brunatnego kopalni „Wysoka" o składzie C — 49%, H — 4,4%, O — 20,73%, N — 0,82, S — 0,65 pop. — 10,9, H_2O — 13,5%; 4) dla drzewa C — 40%, H — 4,8%,



Rys. 5.

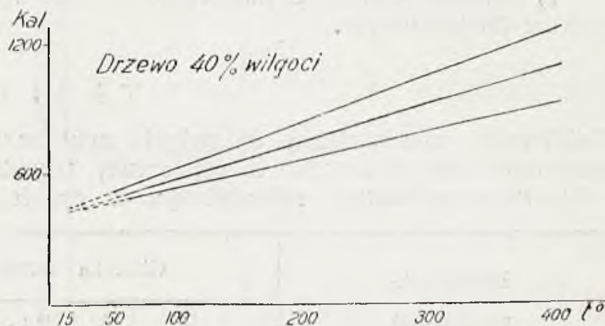
O — 34,4%, N — 0,4, pop. — 0,4 wilg. 20%, 5 i 6) dla takiego samego drzewa z zawartością wilgoci 30 i 40%. Zakładaliśmy, że powietrze użyte do spalania jest bezwzględnie suche. Największą zawartość H_2O gazy posiadają w wypadku ostatnim (t. j. gazy z drzewa z zawartością 40% H_2O) przy $n = 1$. W tym wypadku otrzymaliśmy najwyższą temperaturę nasycenia gazów parą wodną, a mianowicie 65,4°C.

*) Obliczenia, o których mowa w rozdziale niniejszym, a także wykresy (rys. 1 — 6) wykonane zostały przez st. asystenta zakładu maszynozn. og. i chem. politechniki warsz. p. *Jerzego Kiełczewskiego* inż. chem.

Rezultaty tych obliczeń zobrazowaliśmy na wykresach (rys. 1 — 6), na których określone w sposób powyższy punkty połączyliśmy krzywemi. Krzywe strat kominowych w ten sposób otrzymane powyżej temperatury nasycenia parą wodną mogą być uważane w pierwszem przybliżeniu jako linje proste.

Gdybyśmy za zero względne zamiast 15°C przyjęli inną temperaturę, nprz. 0°C, to ciepło spalania użytego paliwa byłoby nieco inne; należałoby uwzględnić zawartość cieplną powietrza wprowadzonego do paleniska oraz zawartość cieplną paliwa.

Tak więc i straty ciepła w gazach spalinowych obliczone od 0°C wypadły by nieco wyższe, niż wtedy, gdy za zero względne przyjęta została tempe



Rys. 6.

ratura 15°C. Jeżeli za takie zero weźmiemy temperaturę wyższą od 15°, naprz. 30°—40°, to zawartość cieplna wprowadzonego powietrza może okazać się wielkością ujemną, straty zaś w gazach kominowych wypadną niższe, niż dla zera względnego = 15°C.

Z punktu widzenia ściśle naukowego najracjonalniejszem wydać się może układanie bilansów cieplnych od zera bezwzględnego, lecz stoi temu na przeszkodzie brak dokładnych danych o własnościach fizycznych (cieple właściwem, cieple parowania, cieple topnienia) w pobliżu zera bezwzględnego.

I. FESZCZENKO-CZOPIWSKI, prof. Akad. Górn. w Krakowie.

O WARUNKACH TECHNICZNYCH DLA MATERJAŁU BLACH KOTŁOWYCH.

por. *Technika Cieplna*, 1927 str. 106.

§ 60. Wśród kotlarzy utrzymuje się dotychczas pogląd, że miękkie żelazo jest materjałem najmniej wrażliwym na wszelkiego rodzaju obróbkę mechaniczną i termiczną. Jednak pogląd ten nie jest zupełnie słuszny.

Miękkie żelazo w większości wypadków jest bardzo ciągliwe, nie kruche, a to znaczy bardzo odporne na uderzenia. Ocenę wartości konstrukcyjnej materjału blach kotłowych przyjęto powszechnie opierać na podstawie liczby wydłużalności jednostkowej, otrzymywanej z prób na rozerwanie. Jest to co prawda zjawisko ogólne, że materjały ciągliwe są jednocześnie mało kruche.

W § 26 i 27 omówiliśmy niektóre inne właściwości mechaniczne, które obok stopnia wydłużalności dają trwałe podstawy do stanowczej oceny wartości materjału, i które zmieniają się w zależności od składu chemicznego danego materjału, stopnia jego czystości, obróbki mechanicznej i termicznej w sposób odmienny niż stopień wydłużalności prób badanych na rozerwanie. Szczególnie widać to z wyników naszych badań umieszczonych w tabelach 4 i 7.

W tabeli 25 umieszczone są wyniki badań ośmnastu próbek materjału blachy kotłowej № 13 o składzie chemicznym $C = 0{,}10 : Si = 0{,}015 : Mn = 0{,}49 \; P = 0{,}042 : S = 0{,}032$ w różny sposób termicznie obrobionych, a mianowicie:

1) Próbki, termicznie nieobrobione, badane w stanie dostarczonym.

2) Próbki, badane w stanie przegrzanym w ciągu 2 godzin przy temperaturze 1200° poczem chłodzone: a) powolnie razem z piecem z szybkością stygnięcia 0,03 — 0,04°/sec; b) na powietrzu o szybkości stygnięcia około 1,6°/sec.; c) na powietrzu, analogicznie jak w „b“, lecz odpuszczone przez ogrzewanie do 400° i następnie powolnie chłodzone do temperatur zwyczajnych wraz z piecem. Uzasadnienie takiego kombinowanego sposobu chłodzenia podano w końcu § 30-go.

3) Próbki, badane w stanie wyżarzonym w temperaturze 930° w ciągu 1½ godz. poczem studzone: a) powolnie razem z piecem o szybkości stygnięcia około 0,04°/sec.; b) w wodzie o szybkości stygnięcia około 30°/sec.; c) w wodzie, analogicznie jak w „b“, lecz krótko odpuszczone przy temperaturze 400° i następnie powolnie chłodzone do temperatur zwykłych wraz z piecem; d) na powietrzu o szybkości stygnięcia około 0,5°/sec.; e) na powietrzu, analogicznie jak w „d“ lecz krótko odpuszczone przy temperaturze 400° i następnie powolnie chłodzone do temperatur zwykłych wraz z piecem.

4) Próbki, badane w stanie termicznie ulepszonym, t. j. hartowane od 930° w wodzie, poczem odpuszczone w ciągu ½ godz. przy 675° C i od tej temperatury chłodzone: a) powolnie razem z piecem; b) w wodzie; c) w sposób kombinowany, t. zn. szybko studzone w wodzie od temperatury odpuszczenia, ponownie odpuszczone od 400° z następującem powolnem stygnięciem od tej temperatury do temperatur zwykłych.

5) Próbki, badane w stanie rekrystalizowanym w ciągu 24 godz. przy temperaturze 780° i studzone: a) powolnie w piecu; b) na powietrzu z następnem krótkiem odpuszczeniem w temperaturze 400° z powolnem stygnięciem do temperatur zwykłych.

6) Próbki „zastępczo ulepszone“. Pod sposobem „zastępczego ulepszenia“ rozumiemy proces termicznego ulepszania materjału związany z jednem ogrzewaniem. Znaczy to, że proces pierwszego hartowania jest przerwany właśnie w tym momencie, kiedy w hartowanej próbce pozostaje ilość ciepła wystarczająca do samoodpuszczenia. Proces zastępczego ulepszenia stosowany był jeszcze w latach przedwojennych do częściowego ulepszania niektórych wyrobów ze stali półtwardej (procesy Sandberg'a, t-wa Sorbitic C-ie, Usine d'Hagondance, Usine de Neuves Maisons i Huty Nadeždenskaja na Uralu).

TABLICA Nr. 26.

Właściwości mechaniczne dziewięciu prób materjału blachy kotłowej Nr. 13 w różny sposób termicznie obrobionych, o tej samej twardości = 111 kg/mm^2 w skali Brinell'a (wahania ∓ 0,05 m/m podziałki mikroskopu w czasie mierzenia średnicy odcisku kulki Brinell'a).

Znakowanie właściwości mechanicznych	Obróbka termiczna badanego materjału									Wahania w % w stosunku do najmniejszej wartości
	Przegrzany od 1200°	Przegrzany od 1200°	Nieobrobiony	Wyżarzony przy 930°	Wyżarzony przy 930°	Termicznie ulepszony	Termicznie ulepszony	Termicznie ulepszony	Termicznie ulepszony	
U kgm/cm^2 przy — 15° C	1,2	1,3	2,3	7,3	6,9	9,7	10,5	12,6	11,9	900
— „ — 0	5,2	4,4	6,5	7,5	7,3	10,7	11,5	13,2	11,8	200
— „ — + 15	7,2	7,8	8,1	8,3	9,8	12,7	11,9	14,2	11,7	97
— „ — + 100	13,2	12,8	10,6	12,9	12,4	12,9	13,0	16,2	12,2	33
— „ — + 150	13,0	13,2	11,7	12,4	13,4	13,2	13,3	15,9	13,9	28
— „ — + 200	11,0	12,7	10,9	11,5	12,4	13,0	13,0	14,1	13,2	28
H kg/mm^2	106,5	106,5	106,5	111	115,5	115,5	111	115,5	111	0
Q — „ —	18,9	19,5	20,8	22,4	23,4	23,6	27,4	27,8	28,3	50
R — „ —	34,6	34,8	34,3	35,4	36,2	35,3	36.2	38,8	36,7	12
A w %	34,8	32,0	35,8	36,8	34,4	28,8	28,8	28,0	27,2	32
C — „ —	62,0	60,4	62,7	61,2	62,8	66,8	68,2	66,7	66,0	13
$Q : R$	54,6	56,0	60,4	63,4	64,7	66,8	75,7	71,6	77,2	42
$H : Q$	5,7	5,4	5,12	5,0	4,9	4,9	4,1	4,2	3,9	46
$R + 2A$	104,2	98,8	105,9	109,0	105,0	92,9	93,8	94,8	91,1	20
$R + 6A$	243,4	226,8	249,1	256,2	242,6	208,1	209,0	206,8	199,9	28

TABLICA 25.

Właściwości mechaniczne materjału blachy kotłowej № 13 w zależności od poprzedniej obróbki termicznej

Właściwości mechaniczne \ Materjał i obróbka termiczna	Nieobrobiony termicznie	Przegrzany przy 1200°C.			Wyżarzony w ciągu 1½ godz. przy 930°					Termicznie ulepszony: hartowany od 930° w wodzie, odpuszcz. ½ godz przy 675°C.					Rekrystalizowany przy 780° w ciągu 24 godz.		Zastępcze ulepszanie	
		Powolnie studzony w piecu	Studzony na powietrzu	Studz. na powietrzu i odpuszcz. od 400°	Powolnie studzony w piecu	Studzony w wodzie	Studzony w wodzie i odpuszcz. od 400°	Studzony na powietrzu	Studz. na powietrzu i odpuszcz. od 400°	Studzony powolnie w piecu	Studzony w wodzie	Studzony w wodzie i odpuszcz. od 400°	Studzony na powietrzu	Studz. na powietrzu i odpuszcz. od 400°	Studzony w piecu powolnie	Studz. na powietrzu i odpuszcz. od 400°	№ 1	№ 2
U kgm/cm^2 przy — 15° C.	2,3	1,2	1,3	1,2	2,9	11,0	13,6	6,9	7,3	9,7	5.6	12,6	11,9	10.5	2,1	2,1	5,4	5,7
0	6,5	1,6	4,4	5.2	4,1	11,5	14,4	7,3	7,5	10,7	7,0	13,2	11,8	11,5	3,5	5,0	8,7	9,5
+ 15	8,1	2,7	7,8	7,2	5,4	12,4	13,6	9,8	8,3	12.7	7,7	14,2	11,7	11,9	3,8	9,7	10,3	13,8
+ 100	10,6	10,6	12,8	13,2	13,9	12,5	15,4	12,4	12,9	12,9	9,3	16,2	12,2	13,0	12,1	14,4	11,4	14,2
+ 150	11,7	13,9	13,2	13,0	14,1	12,6	17,3	13.4	12,4	13,2	10,3	15,9	13,9	13,3	14,3	13,4	13,9	16,5
+ 200	10,9	12,5	12,7	11.0	13,1	12,8	12,7	12,4	11,5	13,0	11,2	14,1	13,2	13,0	13,5	12,6	11,6	11,6
H kg/mm^2	106,5	99	106,5	106,5	103,5	137	120	115,5	111	115.5	126	115,5	111	111	99	99	111	106,5
Q —„—	20,8	17,5	19,5	18,9	20,7	38,8	30,3	23,4	22,4	23,6	33,9	27,8	28,3	27,4	20,7	21,3	25,0	24,2
R —„—	34,3	32,9	34,8	34,6	33,4	52,3	41,7	36,2	35,4	35,3	43,4	38,8	36,7	36,2	33,6	35,5	37,3	35,8
A w %	35,8	38,4	32,0	34,8	36,8	16,8	23,2	34,4	36,8	28,8	24,0	28,0	27,2	28,8	36,0	32.8	26,4	28,0
C —„—	62,7	62,0	60,4	62,0	64,0	47,5	59,4	62,8	61,2	66,8	63,6	66,7	66,0	68,2	64,1	63,7	61,1	63,5
$Q:R$	60,4	53,2	56,0	54,6	62,0	72,3	72,6	64.7	63,4	66,8	78,1	71,6	77,2	75,7	61,6	60,0	65,7	67,6
$H:Q$	5,12	5,60	5,44	5,70	5,00	3,54	3,96	4,93	4,95	4,89	3,72	4,16	3,92	4,05	4,78	4,65	4,44	4,40
$R+2A$	105,9	109,7	98,8	104,2	107,0	85,9	88,1	105,0	109,0	92,9	91,4	94,8	91,1	93,8	105,6	101,1	90,1	91,8
$R+6A$	249,1	263,3	226,8	243,4	254,2	153,1	180,9	242,6	256,2	208,1	187,4	206,8	199,9	209,0	241,6	232,2	195,7	203,8
$R=0,34H$	36,2	33,7	36,2	36,2	35,2	46,6	40,8	39,1	37,7	39,1	42,8	39,1	37,7	37,7	33,7	33,7	37,7	36,2

TABLICA 27.

Właściwości mechaniczne pewnych gatunków materjału blach kotłowych w stanie termicznie nieobrobionym, wyżarzonym i termicznie ulepszonym.

Właściwości mechaniczne \ № blachy i obróbka termiczna	5			8			9			11			12			13			14		
	Nieobrobiony	Wyżarz.	Ulepsz.	Nieobrobiony	Wyżarz.	Ulepsz.	Nieobrobiony	Wyżarz.	Ulepsz.	Nieobrobiony	Wyżarz.	Ulepsz.	Nieobrobiony	Wyżarz.	Ulepsz.	Nieobrobiony	Wyżarz.	Ulepsz.	Nieobrobiony	Wyżarz.	Ulepsz.
U kgm/cm^2 przy — 15° C.	2,3	2,5	11,8	2,0	2,9	13,5	1,9	2,2	11,4	5,1	4,7	13,3	4,3	4,8	13,2	2,3	2,9	12,6	1,3	1,5	9,1
0	5,7	4,3	12,5	4,6	5,1	14,9	7,8	6,6	11,5	7,2	6,5	13,6	12,6	8,3	13,1	6,5	4,1	13,2	2,4	4,3	10,0
+ 15	8,3	6,9	14,6	7,3	8,1	17,9	11,4	9,7	11,1	9,2	9,3	15,3	15,9	15,2	16,6	8,1	5,4	14,2	7.0	6,6	11,1
+ 100	11,9	12,2	15,0	11,5	12,7	15,3	10,8	11,9	11,6	13,7	13,9	16.2	17,2	15,1	16,5	10,6	13,9	16.2	11,3	12,3	12,8
+ 150	12.0	12,0	13,9	12.3	14,0	14,3	12,3	10,6	11,5	12,9	12,7	15,9	16,1	12,9	14,8	11,7	14,1	15.9	10,6	10,1	13,4
+ 200	10,5	14,0	11.2	11,7	12,3	13,7	11,6	11,3	12,8	10,1	11,4	13,1	13,9	11.2	13,5	10,9	13,1	14,1	10.0	10,5	12,2
H kg/mm^2	115,5	103,5	115,5	120,0	111,0	115,5	111,0	103,5	115,5	120,0	111,0	126,0	115,5	106,5	120,0	106,5	103,5	115,5	106,5	103,5	126
Q —„—	23,8	21,8	26,8	25,7	24,6	27,0	22,4	21,6	28,4	25,2	23.2	32,9	26,0	24,6	30,3	20,8	20,7	27,8	22,3	22,2	28,1
R —„—	36,2	33,7	37,4	38,7	38,0	39,2	35,7	33,4	38,8	40,3	39,1	46 6	37,4	36,0	42,3	34,3	33.4	38,8	38,7	38,6	41,2
A w %	27,7	34,8	31,9	29,0	36,0	33,0	27,0	32,0	32,0	33,0	33,0	29,0	30,0	32,0	28,5	35,8	36.8	28,0	30,0	31,0	26,5
C —„—	65,5	65,4	72,5	62,0	64,0	70,0	61,0	66,0	66,0	60,5	57,0	68,2	62.0	65,0	68,0	62,7	64,0	66,7	61,3	62,3	66,4
$Q:R$	65,7	64,7	71,6	66,4	64.7	70,0	62,8	64,6	73,2	62,5	57,0	70,6	69,5	68,3	71.6	60,4	62,0	71,6	57,6	57,6	68,2
$H:Q$	4,85	4,75	4,31	4,67	4.51	4,28	4,95	4,80	4,07	4,76	4,78	3,83	4,44	4,3	3,96	5,12	5,00	4,16	4,78	4,66	4,48
$R+2.4$	91,6	103,3	101,2	96.7	110,0	105,2	89,7	97,4	102,8	106,3	105,1	104,6	97,4	100,0	99,3	105.9	107.0	94,8	98,7	100,6	94,2
$R+6.4$	202,4	242,5	228,8	212,7	254,0	237,0	197,7	225,4	230,8	238,3	237,1	220,6	217,4	228,0	213,3	249,1	254,2	206.8	218,7	224,6	200,2
$R=0,34H$	39,2	35,5	39,2	40.8	37,7	39,2	37,7	35,5	39,2	40,8	37,7	42,8	39,2	36,2	40,8	36,2	35,2	39,1	36,2	35,2	42,8

Sposób ten, zastosowany przez nas do stali miękkiej, jak widać z wyników badań statycznych i dynamicznych z prób w stanie nieobrobionym, daje materjał o nieco lepszych właściwościach mechanicznych. Do ściślejszego określenia wartości technicznych tego procesu powrócimy nieco później.

Tabela 26 zawiera właściwości mechaniczne dziewięciu prób materjału blachy kotłowej № 13 o prawie stałej twardości 111 kg/mm^2. Jedna z tych prób badana była w stanie nieobrobionym; dwie w stanie wyżarzonym i cztery — w stanie termicznie ulepszonym. Wahania w liczbach twardości przy układaniu tej tablicy dopuszczone są w granicach 106,5—115,5 kg/mm, czyli zaledwie $+$ 4% od przeciętnej wartości, co odpowiada połowie podziałki w mikroskopie przy mierzeniu średnicy odcisku kulki aparatu Brinell'a, t. j. w granicach dopuszczalnego błędu przy określeniu twardości według Brinell'a. Wyniki tych dziewięciu badań ułożone są w ten sposób, że wartości granicy płynności wzrastają od strony lewej ku prawej od najmniejszej wartości = 18,9 kg/mm^2 do największej = 28,3 kg/mm^2.

Wahania innych właściwości mechanicznych (wydłużalności, wytrzymałości i odporności na uderzenia w temperaturach od — 15° C do $+$ 200° C) nie są podporządkowane ścisłej regule, chociaż oczywiście wytrzymałość prób ulepszonych jest nieco wyższa niż prób w jakikolwiek inny sposób termicznie obrobionych (przegrzanych lub nawet termicznie nieobrobionych). Wahania w kruchości i wydłużalności tych prób są stosunkowo mniejsze. Prawie prawidłowo, odpowiednio do wzrostu granicy płynności wzrasta stosunek $Q:R$. Lecz w stanie termicznego ulepszenia, jak to wypływa z porównania trzech ostatnich prób stosunek ten nie zawsze może być miernikiem wysokiej odporności na uderzenia termicznie ulepszonego materjału w temperaturach zakresu kruchości na zimno.

Powszechnie przyjęty jest wzór $R + 2A =$ = około 100 jako warunek techniczny odbioru materjału blach kotłowych, w którym główną i decydującą rolę gra wydłużalność, a odpowiednia wysokość tej ostatniej, gwarantuje przyjęcie materjału przez odbiorców. Jak to wyraźnie wpływa z tabel 25 i 26 wysokość wydłużalności w lepszym wypadku nic nie mówi, a w gorszym maskuje zły stan materjału t. j. jego wysoką kruchość w temperaturach zwykłych i nieco niższych od zwykłych. Tak naprzykład, w tab. 25 wartości $R + 2A = 105$ odpowiada w pierwszym wypadku materjał technicznie nieobrobiony, w drugim wypadku materjał silnie przegrzany, gruboziarnisty, łamliwy, w którym zakres kruchości na zimno został przesunięty do temperatur wyższych od zwykłych, w trzecim wypadku — materjał znormalizowany przez wyżarzenie przy 930° z następnem stygnięciem na powietrzu a w czwartym wypadku—materjał rekrystalizowany o silnie przesuniętym zakresie kruchości na prawo, w stronę wyższych temperatur ($U_{50} = 4,2$). Wartości $R + 2A = 109$ (patrz. tab. 25) odpowiada w pierwszym wypadku materjał przegrzany przy 1200°; następnie powolnie studzony razem z piecem, a w drugim wypadku materjał wyżarzony na powietrzu do 400° i od 400° — w piecu. Nareszcie $R + 2A = 95 — 98$ w pierwszym wypadku odpowiada materjał przegrzany w temperaturze 1200° w ciągu 2-ch godzin z następnem ochładzaniem na powietrzu, w drugim wypadku— materjał termicznie ulepszony o silnie posuniętym zakresie kruchości na zimno na lewo w stronę najniższych temperatur, co jest bardzo cenną właściwością materjałów używanych do budowy kotłów parowych, pracujących z przerwami okresowo. Wyżej przytoczone zestawienie wskazuje, że ze wzoru $R + 2A$ możnaby korzystać tylko dla materjałów blach kotłowych termicznie ulepszonych. Wówczas wartość ta byłaby nie większa niż 90—92 przy wydłużalności materjału w granicach 27 — 28% zamiast obecnie wymaganych 30% i więcej.

Wzór $R + 6A$ używany w innych wypadkach jest w mniejszym jeszcze stopniu miarodajny, a to z tego powodu, że stopień wydłużalności materjału badanego w temperaturach zwykłych ma we wzorze tym wielkie znaczenie i że od niego uzależniony jest ogólny wynik. Zestawienie liczb $R+2A$ i $R+6A$, umieszczone w tabelach 25 i 26 stwierdza haotyczność otrzymywanych wyników i bezcelowość korzystania z tych wzorów, nie posiadających bezpośredniego związku z istotnemi właściwościami mechanicznemi badanego materjału.

Stopień przewężalności dla miękkiej stali, nadającej się na blachy kotłów do pewnego stopnia może być miarodajnym przy ocenie konstrukcyjnej wartości tego materjału. Wysoki stopień przewężalności (66—68%) odpowiada materjałom o wysoko położonej granicy płynności, o dobrej wydłużalności (nieco mniejszej co prawda od niesłusznie obecnie wbrew zasadom racjonalności wymaganej) i o nisko, do temperatur niższych od zwykłych, przesuniętym zakresie kruchości na zimno. Jednak całkowita zależność między dwoma najwięcej miarodajnemi czynnikami, a mianowicie — granicą płynności i odpornością na uderzenia, a stopniem przewężalności, jak to wyraźnie wypływa z tabeli 26 nie istnieje (porównaj wyniki prób 1-ej, 3-ej, 4-ej i 5-ej, gdzie prawie jedna i ta sama przewężalność = około 62% odpowiada materjałom o różnem położeniu zakresu kruchości na zimno).

Cóż będzie jednak miernikiem ciągliwości materjału?

§ 61. W obecnych czasach przy stosowaniu wysokich ciśnień w kotłach parowych poszukiwany jest dla konstrukcyj kotłowych materjał o wysoko położonej granicy płynności. Wyżej (patrz § 53—55) zastanawialiśmy się bliżej nad rolą granicy płynności w materjałach konstrukcyjnych. Granica płynności znajduje się normalnie tylko nieco wyżej granicy sprężystości. Położenie tej ostatniej wskazuje na wysokość obciążeń wywołujących

odkształcenia sprężyste; poziom pierwszej podaje wysokość obciążeń wywołujących w materjale odkształcenia trwałe. Wydłużalność materjału jest do pewnego stopnia gwarancją, że w razie powstania odkształceń trwałych materjał nie będzie zniszczony natychmiast po przekroczeniu granicy płynności. Wysoka zdolność do tworzenia w materjale płaszczyzn łatwego poślizgu, której miernikiem jest do pewnego stopnia wydłużalność, ochraniać będzie materjał od powstania przedwczesnych rys i pęknięć.

Z danych, umieszczonych w tabeli 26 wynika, że materjał o stałym składzie chemicznym i o stałej twardości silnie różnić się może w swych właściwościach mechanicznych. Największe wahania przypadają na kruchość w zakresie temperatur zwykłych i nieco niższych od zwykłych (patrz § 30 i tabela 8), a następnie na temperatury na granicy płynności. W naszych badaniach wahania w wartości granicy płynności w stosunku do wartości najmniejszych (w %) wynoszą dla materjału blachy № 13 (z tabeli 25) jako maksimum — 120% a dla prób materjału o jednakowej twardości (z tabeli 26) — 50%. Wydłużalność w tych samych warunkach dla tych samych prób waha się w stosunku do wartości największych dla prób umieszczonych w tabeli 25 o 56%, a dla prób, umieszczonych w tabeli 26 o 26%. Prosty arytmetyczny rachunek doprowadzi do wniosku, że przy pracy materjału w wypadkach wyjątkowych i krótkotrwałych, pod obciążeniem zmiennem przewyższającem nieco przeciętne obciążenie sprężyste, należy mniej mieć obaw o powstanie rysy (szczeliny) w materjałach o wysoko położonej granicy płyności (sprężystości) chociażby tą właściwość materjału osiągnięto kosztem obniżenia wydłużenia.

Z wyżej wymienionych badań (tab. 25 i 26) wyraźnie wypływa, że materjał posiadający wysoki stopień wydłużalności może posiadać niską granicę płynności oraz szeroki zakres kruchości na zimno przesunięty daleko na prawo, w stronę wyższych temperatur, podczas gdy materjał o wysoko położonej granicy płynności posiada prawie tą samą twardość, nieznacznie tylko zwiększoną wytrzymałość i znacznie większą przewężalność chociaż wydłużalność jednostkowa będzie nieco mniejsza. Łączny wpływ tych właściwości na zalety materjału będzie dodatni. Miernik dodatniego wpływu obróbki termicznej na wartość danego materjału określamy stosunkiem:

$$\frac{H}{Q} = \frac{\text{Twardość w skali Brinell'a } kg/mm^2}{\text{Granica płynności } kg/mm^2}$$

Ten stosunek dla stali przegrzanych jest bliski do 6; dla stali wyżarzonych (normalizowanych i szybko ochłodzonych w zakresie temperatur do 400°) = od 5,0 do 4,6 i dla stali termicznie ulepszonych = około 4,25 (wahania dopuszczalne 4,0 — 4,5).

Z tabeli 26 widzimy, że stosunek $H:Q$ stale obniża się od największych wartości (odpowiednio do najmniejszych wartości Q). Z tabeli 25 wynika, że próby o bardzo wysoko położonej granicy płynności (t. z. o nadmiernie wysokim stosunku $Q:R > 75$ a wyraźniej o nadmiernie niskim stosunku $H:Q < 3{,}9$) posiadają nieco obniżony i przesunięty w prawo, w stronę wyższych temperatur, poziom zakresu kruchości na zimno, co jest charakterystyczną cechą stali hartownych i termicznie ulepszonych z następnem odpuszczeniem na twardo (t. j. przy niskich temperaturach). Polecany stosunek $H:Q = 4{,}25$ zapewnia stosunek $Q:R =$ około 70 i jednocześnie — wysoki stopień przewężalności (około 66%) oraz całkiem wystarczające dla celów praktycznych wydłużenie jednostkowe = około 28% dla materjału blach kotłowych o zawartości węgla około 0,1% i normalnej ilości innych domieszek napotykanych w handlowych gatunkach miękkiej stali. Stal o takich właściwościach będzie posiadać zakres kruchości na zimno daleko przesunięty na lewo, w stronę temperatur niższych, co zapewnia jednakowy stopień bezpieczeństwa tego materjału we wszystkich klimatycznych i atmosferycznych warunkach zmian temperatury Europy środkowej. Oprócz tego miękka stal o tak wysoko położonej granicy płynności a tem samem o wysoko położonej granicy sprężystości będzie posiadać prawie najwyższą, z możliwych dla tego materjału, granicę zmęczenia, t. z. — wytrwałość materjału na zmienne podsprężyste obciążenia.

W tabeli 27 podane są właściwości mechaniczne siedmiu gatunków materjału blach kotłowych w stanie termicznie nieobrobionym, normalizowanym (przez wyżarzenie z następnem powolnem ochłodzeniem) i termicznie ulepszonym. Chemiczny skład tworzyw № 5, 8 i 9 umieszczony został w tabeli 3 w § 22, tworzyw № 11 i 14 w § 58, tworzyw zaś № 12 i 13 jest następujący:

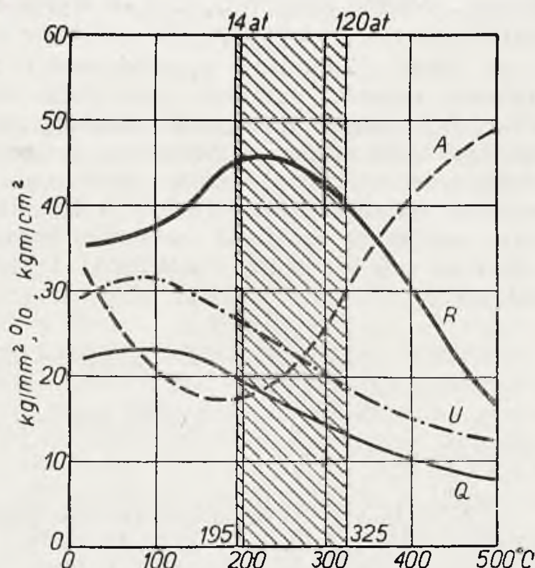
№ 12 C — 0,11%, Si — 0,041%, Mn — 0,57%, P — 0,067%, S — 0,046%.

№ 13 C — 0,10%, Si — 0,015%, Mn — 0,49%, P — 0,42%, S — 0,032%.

Blachy te są różnego pochodzenia: stopień ulepszenia każdej z nich nie jest ustalony. To znaczy, że temperatura hartowania, odpuszczenia i szybkość ochłodzenia w każdym z tych siedmiu przykładów nie były ściśle identyczne, a z tego powodu i stopień ulepszenia termicznego w każdym powyższym wypadku jest odmienny, co wskazuje najdokładniej stosunek $H:Q$, a częściowo stosunek $Q:R$. Całokształt wyników badań mechanicznych, statycznych i dynamicznych, tych siedniu materjałów w najlepszy sposób potwierdza wyżej wypowiedziane zdanie o miarodajności i celowości korzystania ze stosunku $H:Q$ w celu oceny wartości konstrukcyjnej materjałów stalowych.

§ 62 — Praktycznie istnieją dwie drogi do nadania materjałowi blach kotłowych wysokiej sprężystości, to znaczy wyższej granicy płynności a mianowicie: 1) kosztowna droga obróbki termicznej, wymagająca dwóch ogrzewań: jednego — w celu hartowania i drugiego — w celu odpuszczenia (ulepszanie termiczne) i 2) stosunkowo tańsza, droga chemiczna. To znaczy, że wprowadzając w skład tworzywa pewne nowe pierwiastki (nikiel), lub zwiększając zawartość domieszek istniejących (węgiel) otrzymujemy tworzywo o wyżej położonej granicy płynności (względnie—sprężystości). Ta ostatnia droga jest wypróbowaną w ciągu ostatnich lat dzięki rozpowszechnieniu się kotłów wysokoprężnych. Dla tych kotłów stosowane są zarówno stale niklowe, jak stale o nieco zwiększonej zawartości węgla (kotły okrętowe).

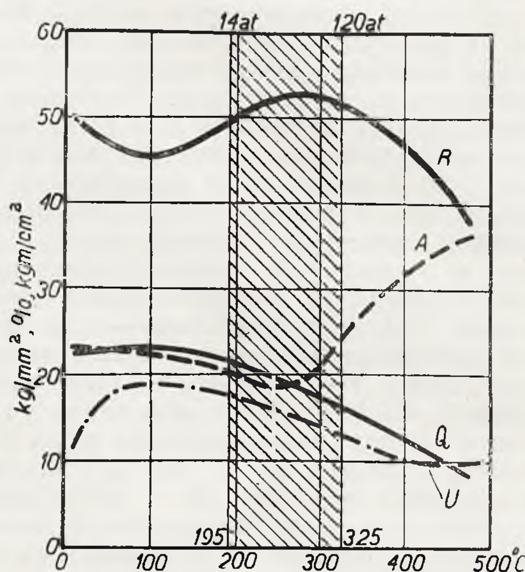
Na rys. 98—101 przedstawiono pewne właściwości mechaniczne i zmiany tych właściwości zależnie od temperatury otoczenia dla czterech gatunków materjałów stalowych, a mianowicie: stali małowęglistej bardzo miękkiej o zawartości węgla 0,05% według *P. Goerens'a* [1]), (rys 98), stali półmiękkiej o zawartości węgla 0,25% według *H. J. French'a* [2]) (rys. 99), stali półtwardej węgla 0,51% według *Reinhold'a* [3]) (rys. 100) i stali niklowej o zawartości 5% niklu



Rys. 98.

według *P. Goerens'a* [1]) (rys. 101). Litera *R* oznacza wytrzymałość; Q = granicę płynności: *A* — wydłużalność i *U* = odporność na uderzenia (kruchość).

Z porównania zmian właściwości mechanicznych różnych gatunków stali o różnej zawartości węgla, względnie o różnej twardości, wytrzymałości i wydłużalności w temperaturach zwykłych wynika, że stal miękka i stal półtwarda w warunkach temperatur odpowiadających pracy kotła parowego o ciśnieniu 14—120 atm (195—325°*C*) posiadają mniejszą różnicę w ciągliwości (wydłużalności) niż w temperaturach zwykłych i że te różnice dla stali miękkiej i półmiękkiej są



Rys. 99.

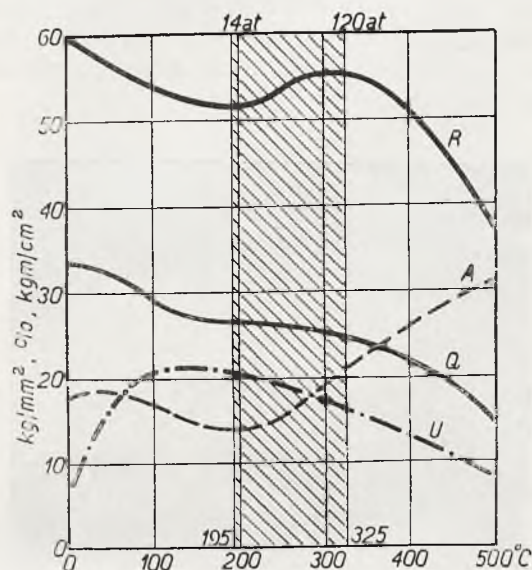
bardzo znikome. Z tego powodu obawa kotlarzy przed pozornie silnie obniżoną ciągliwością stali o nieco większej zawartości węgla jest bezpodstawną. Jest jednak rzeczą zrozumiałą, że stale o nieco większych zawartościach węgla posiadają obniżony i nieco przesunięty na prawo, w stronę wyższych temperatur, zakres kruchości na zimno. Właściwie ta ostatnia okoliczność jest bardzo ważną ponieważ wszystkie pęknięcia w materjale kotłów parowych według naszego mniemania zachodzą w temperaturach zwykłych, bliskich do nich i nieco niższych.

W obecnych czasach rozpowszechniają się badania wytrzymałościowe wykonywane w temperaturach odmiennych od temperatur zwykłych, a to w celu określenia zachowania się metalu w tych nienormalnych warunkach. Napotykane w praktyce wypadki są bardzo skomplikowane, bo naogół ani temperatura pracy metalu, ani temperatura otoczenia nie jest jednostajna. Za przykład służyć mogą ścianki walczaka w kotle parowym: zewnętrzna strona walczaka stykająca się bezpośrednio z produktami spalania posiada najwyższą temperaturę; wewnętrzna strona — wodna, najniższą. Cały przekrój blachy kotłowej posiada pewne stopniowanie temperatur w postaci mniej lub więcej łagodnego lecz ciągłego przejścia od najwyższej do najniższej temperatury

[1]) Z. d. V. d. I. 1924, 41.
[2]) Chem. und. Metal. Eng. 1922, 1207—1209.
[3]) Prof. P. Oberhoffer, — „Das technische Eisen". 1926, str. 281.

a z tem związane są stopniowe zmiany właściwości wytrzymałościowych. Charakter tego stopniowania właściwości wytrzymałościowych jest decydujący przy wyborze materjału, którego zalet nie mogą charakteryzować próby wykonane w temperaturach najwyższej i najniższej. Konieczny jest szereg prób w temperaturach pośrednich.

Ta ostatnia konieczność wypływa z charakteru pracy ścian kotła parowego.



Rys. 100.

Strona więcej rozgrzana może zawsze znieść większe obciążenia niżby wynikało z prób wytrzymałości, wykonanych w tej temperaturze dzięki wpływowi „podtrzymywania" przez chłodniejsze wewnętrzne warstwy, których wytrzymałość jest nieco wyższą [1]).

§ 63. W celu podniesienia granicy płynności blach kotłowych może być zastosowana jeszcze trzecia droga, a mianowicie — „zastępcze ulepszanie". Proces zwykłego ulepszania termicznego jest niedogodny pod tym względem, że wymaga dwóch ogrzewań. Pierwsze ogrzewanie we wszystkich wypadkach jest konieczne; drugie (w celu następnego odpuszczania) można ominąć stosując proces „zastępczego ulepszenia", w którym hartowanie doprowadzone zostaje nie do samego końca, lecz do pociemnienia powierzchni z takiem obliczeniem, ażeby w hartowanym przedmiocie pozostało tyle ciepła, ile potrzeba na samoodpuszczenie, zachodzące w czasie dalszego stygnięcia.

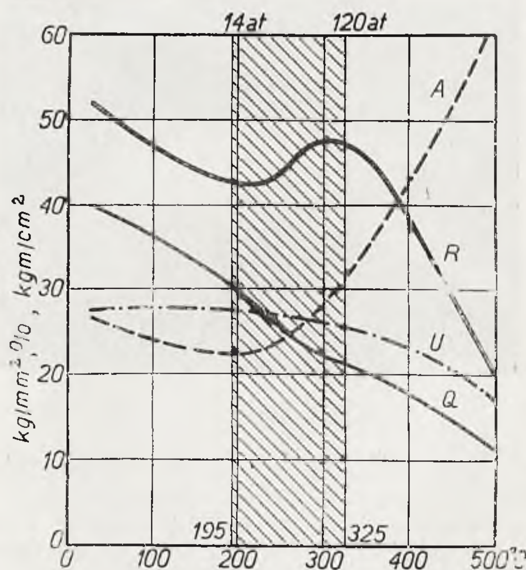
W procesie „zastępczego ulepszania" materjał zostaje utwardzony na powierzchni nieco więcej, warstwy środkowe są więcej ciągliwe. Ta kombinacja zwiększonej twardości na powierzchni i wysokiej ciągliwości wewnątrz może być pożądaną w konstrukcjach kotłów parowych gdzie największe naprężenie powstaje w warstwach zewnętrznych.

„Zastępcze ulepszanie" może być stosowane przy wyrobie kotłów parowych po ostatecznem wyżarzeniu gotowego kotła i cały ten proces będzie wtedy tylko kombinowanem chłodzeniem materjału od temperatury wyżarzenia (950—920°).

To znaczy: szybkie przejście zakresu temperatur do około 600°, następnie nieco powolniejsze stygnięcie do 400° i całkiem powolne stygnięcie poniżej 400°. Do zastosowania takiego kombinowanego ochładzania olbrzymich nowoczesnych kotłów parowych w warunkach fabrycznej ich produkcji, potrzebne będą niewątpliwie skomplikowane instalacje mechaniczne.

Lecz jest to sprawą lokalną, która może być rozwiązana pomyślnie w ten lub inny sposób.

Zasadnicza myśl podniesienia granicy płynności materjału w gotowym wyrobie drogą takiego kombinowanego ochładzania jest jak się nam wydaje, zupełnie racjonalną i godną uwagi konstruktorów.



Rys. 101.

[1]) Prof. W. Rozenhain, The Metalurgist, 29.I.1926, Skrót Malkiewicza, Prz. Techn. 1927, str. 701.

Z CODZIENNEJ PRAKTYKI.

Czego spawać nie należy?

Zjawiające się często naderwania na wyobleniach dennic, zalewane są nieraz przez domorosłych znawców płomieniem acetylenowym bądź elektrycznie.



Rys. 1.

Spawanie miejsc obciążonych na zginanie nie jest wskazane i dlatego o wiele jest racjonalniej ograniczyć się do obserwacji rozwoju pęk-



Rys. 2.

nięć i gdy dojdą one do granic niedopuszczalnych, wymieniać dennicę na nową.

Przed niedawnym czasem nabyty i ustawiony został stary kocioł dwupłomienicowy, w którym pęknięcia dennic były bardzo ładnie zalane płomieniem acetylenowym i wygładzone.

Kocioł wzbudził pewne wątpliwości podczas rewizji. Po długich targach zgodził się inżynier Stowarzyszenia na uruchomienie kotła do czasu nabycia nowego, przyczem skrócone zostały terminy rewizji wewnętrznej.

Po 3 miesiącach pracy zauważono na wyobleniu dennicy bardzo nieznaczne zmarszczki. Kocioł dopuszczono do pracy na następne 3 miesiące, uprzedzając, że na dłuższą pracę uszkodzonego denka liczyć nie można.



Rys. 3.

Po upływie 3 miesięcy pracy rewizja wykazała znacznie głębsze nadpęknięcia nadlanych miejsc i dopuściła kocioł jeszcze na 3 miesiące, po których denko, po przepracowaniu ogółem 9 miesięcy zostało usunięte i wymienione na nowe.

Po wycięciu uszkodzonych miejsc wykonano trawionki przedstawione na rys. 1, 2 i 3.

Z powyższych ilustracyj wynika, że spawanie zasklepiło tylko zewnętrzną stronę pęknięć, pozostawiając wewnątrz całe skupienia szlaki i brudu. Cienka warstwa nadlanego materjału niedająca żadnej mocy, wkrótce pękła, a wyoblenie denka znajdowało się w dość groźnym stanie.

R. B.

KRONIKA TECHNICZNA

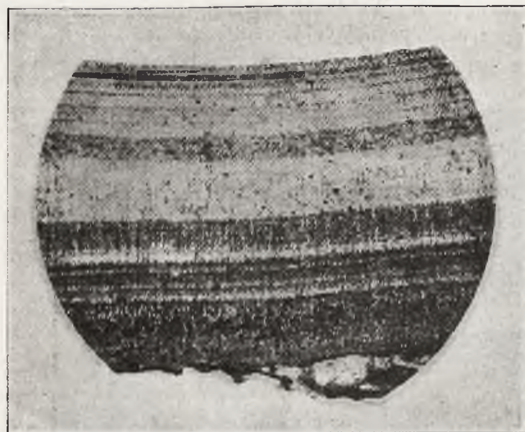
O KOROZJI I OSADACH W KOTŁACH PAROWYCH.

Za czasopismem „*Power*“, 1926, str. 352, podajemy kilka ilustracyj osadów kotłowych, oraz opis doświadczenia, wykazującego wpływ wodorotlenku sodu na tworzenie się korozji. Informacje te pochodzą z referatu dr. *Hall*'a.

Twardy kamień kotłowy przylegający ściśle do ścian kotła wydziela się na tych ścianach bezpośrednio z wody. Cząstki jego nie tworzą się w masie wody i nie pływają w niej.

Rys. 1 przedstawia przekrój osadu powstałego z siarczanu wapnia (gips). Każda warstwa kamienia składa się z licznych kryształków, których osie ułożone są prostopadle względem poszczególnych warstw. Trzy różne związki chemiczne tworzą kamień tego rodzaju. Są to siarczan wapnia, krzemian wapnia i krzemian magnezu

Węglan wapnia nie wytwarza takiego kamienia. Może on jednak stanowić część składową twardego kamienia, gdyż kryształy wyżej wymienionych związków zlepiać mogą luźne cząstki węglanów w zbitą masę. Taki obraz przedstawia rys. 2, w którym większe kryształy składają się z siarczanu wapnia a pomiędzy niemi leżą cząsteczki krzemianu magnezu i węglanu wapnia.



Rys. 1. Mikrofotografja przekroju kamienia kotłowego składającego się z siarczanu wapnia (gips). Widoczne warstwy kryształów.

Przechodząc do powstawania korozji można wykazać, że gdy dwa paski blachy kotłowej zanurzymy w wodzie zawierającej sole elektrolityczne, np. siarczan sodu, a woda przylegająca do jednego z tych pasków zawierać będzie większą ilość rozpuszczonego w niej tlenu niż woda stykająca się z drugim paskiem, zespół ten działać będzie jak ogniwo galwaniczne, jeżeli oba paski połączymy drutem miedzianym. Pasek przy którym woda zawiera mniej tlenu stanie się anodą, czyli prąd płynąć będzie z tego paska blachy i ztąd przez przewodnik zewnętrzny z powrotem do paska pierwszego. Materjał anody tracić będzie na wadze w zależności od wielkości powstającego prądu.

Zjawisko to wykazać można zapomocą bardzo prostego doświadczenia, które każdy może u siebie powtórzyć bez specjalnych urządzeń pomocniczych. Rys. 3, 4, 5 i 6 przedstawiają cztery kolejne stadja tego doświadczenia. Cztery paski oczyszczonej pilnikiem blachy kotłowej oznaczone literami *a*, *b*, *c* i *d* służą do przeprowadzenia doświadczenia. W górnej części paska *a* umieszczono kroplę dystylowanej wody. Na pasku *b* — kroplę wody zawierającej jedynie siarczan sodu. Na pasku *c* — kroplę wody zawierającej jedynie sól kuchenną (chlorek sodu) i wreszcie na pasku *d* — kroplę wody, która zawierała siarczan i chlorek sodu jednocześnie.

Na dolnej części pasków umieszczono również po kropli wody o analogicznym składzie z dodaniem jednak w każdym wypadku wodorotlenku sodu. Koncentracje wymienionych soli w stosunku do miljona części wody zawiera poniżej podana tabela.

Skład roztworów

Górny szereg kropli	Płytka 1	Płytka 2	Płytka 3	Płytka 4
Siarczan sodu	0	740	0	370
Chlorek sodu	0	0	825	412
Wodorotlenek sodu	0	0	0	0
Dolny szereg kropli				
Siarczan sodu	0	740	0	370
Chlorek sodu	0	0	825	412
Wodorotlenek sodu	1175	1175	1175	1175

Rys. 3 przedstawia fotografję wykonaną w pięć minut po umieszczeniu kropel na płytkach, rys. 4 po 27 minutach, a rys. 5—po 70 minutach. Na rys. 3 korozja już zauważyć się daje pod każdą z kropel górnego szeregu. Na rys. 4 jest ona zupełnie wyraźna, a na rys. 5 płyny już się całkowicie ulotniły pozostawiając nawarstwienia produktów korozji w górnym szeregu kropel i wykrystalizowane sole w szeregu dolnym. Potwierdza to rys. 6, który przedstawia fotografję płytek po wytarciu ich wilgotną ściereczką w celu usunięcia z ich powierzchni wszystkich soli rozpuszczalnych.

Praktyczny wniosek do jakiego doświadczenie powyższe uprawnia polega na tem, że woda dystylowana, woda zawierająca siarczan sodu albo chlorek sodu (zwykła sól kuchenna), lub woda zawierająca oba związki powyższe koroduje w obecności tlenu blachę kotłową, przynajmniej w warunkach odpowiadających ciśnieniu atmosferycznemu. Przez dodanie pewnej ilości wodorotlenku sodu możemy całkowicie zapobiedz działaniu korodującemu wody.

Dr. Hall w ciekawy sposób wyjaśnia to zjawisko. Twierdzi on, że przy nakładaniu kropli wody na metal, zawarty w płynie tlen rozdzielony jest w masie płynu równomiernie. Stykając się z metalem tlen ten, pomimo nieznacznych ilości w jakich się w płynie znajduje, łączy się z metalem. Na zewnętrznej powierzchni kropli otaczające ją powietrze dostarcza nowych ilości tlenu, wobec czego zagęszczenie tlenu w płynie nie ulega zmniejszeniu. Inaczej rzeczy się mają w wewnętrznych częściach kropli, gdzie istnieje względny brak tlenu. W ten sposób powstają opisane wyżej warunki tworzenia się ogniwa galwanicznego. Metal stykający się z wewnętrznemi warstwami



Rys. 2. Mikrofotografja przekroju kamienia kotłowego, złożonego z węglanu wapnia i krzemianu magnezu zrośniętych z masą kryształów siarczanu wapnia.

płynu staje się anodą i zaczyna się rozpuszczać (koroduje). Zewnętrzne warstwy kropli, zasobniejsze w tlen, tworzą katodę i działania rozpuszczającego metal tam być nie powinno. Istotnie bliższe zbadanie fotografij wykazuje, że powierzchnia skorodowana jest nieco mniejsza od po-

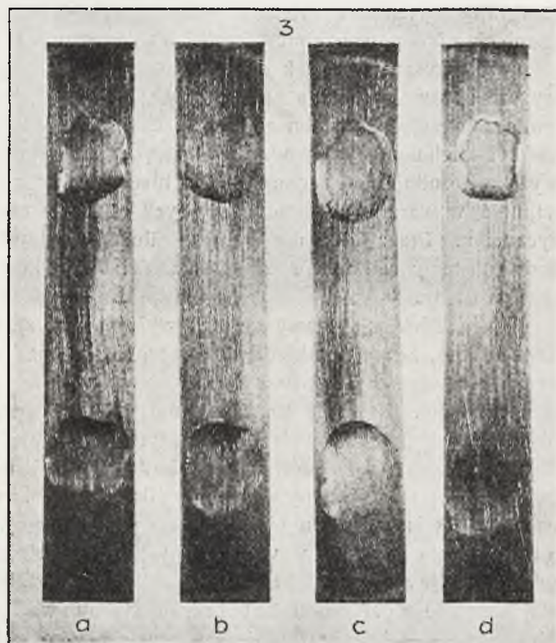
wierzchni zajmowanej przez kroplę. Należy przytem pamiętać, że obwód prądu elektrycznego zamyka masa samego metalu.

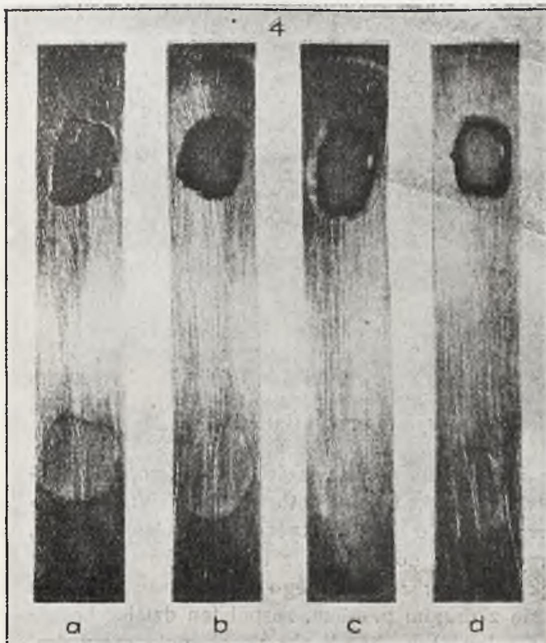
Dlaczego jednak w dolnym szeregu kropli, gdzie istniały analogiczne warunki dla zagęszczenia tlenu nie zauważyliśmy widocznego skorodowania metalu?

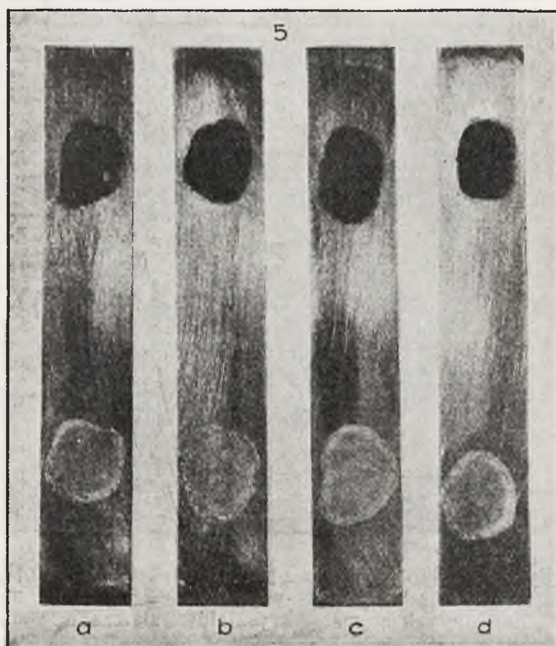
Ponieważ warunki istniejące w dolnym szeregu kropli poza obecnością wodorotlenku sodu były zupełnie jednakowe, należy przypuszczać, że w danym układzie rzeczy wodorotlenek sodu posiada własności zabezpieczania metal od korozji.

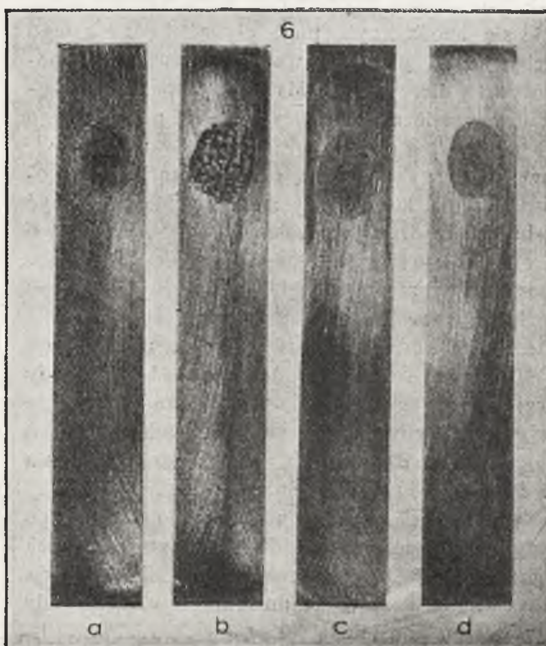
Dr. Hall przypuszcza mianowicie, że wodorotlenek sodu wydziela u anody elektrolity, zastępujące metal, który w przeciwnym wypadku przechodziłby do roztworu i ulegał korozji.

Zauważyć tu należy, że czynnikiem grającym w korodowaniu blach główną rolę jest tlen. O ile możnaby było wnętrze kotłów całkowicie przed dostępem tlenu zabezpieczyć dodatki w rodzaju wodorotlenku sodu nie grałyby żadnej roli. Wiadomo jednak, że całkowite usunięcie tlenu z wody zasilającej i absolutna szczelność kotła i jego osprzętu nie da się osiągnąć w praktyce przemysłowej.









Rys. 3—5. Proste doświadczenie wyjaśniające wpływ wodorotlenku sodu na zabezpieczenie blach kotłowych od korozji. Górny szereg kropli: *a* — woda dystylowana, *b* — roztwór siarczanu sodu, *c* — roztwór chlorku sodu (sól kuchenna), *d* — roztwór siarczanu sodu i chlorku sodu. Dolny szereg kropli: skład odpowiada składowi kropel górnego szeregu z dodatkiem wodorotlenku sodu. Wszystkie krople górnego szeregu wykazują szybko postępującą korozję. Krople dolnego szeregu nie wykazują widocznej korozji materjału. Zdjęcia wykonane zostały po upływie: 5 min (rys. 3), 27 min. (rys. 4), 70 min. (rys. 5). Rys. 6 przedstawia wygląd płytek po wytarciu blachy wilgotną szmatką.

Druk. A. Michalskiego, Sp. z o. o., Warszawa, ul. Chmielna 27. Telefon 27-15